

冯然,翟德超,袁永生. 融入变异系数的空气和地表水质量评价方法[J]. 环境工程技术学报,2021,11(4):814-822.

FENG R, ZHAI D C, YUAN Y S. Research on air and surface water quality evaluation method incorporated with the coefficient of variation[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11(4): 814-822.

融入变异系数的空气和地表水质量评价方法

冯然¹, 翟德超^{2,3}, 袁永生^{1*}

1. 河海大学理学院

2. 资源与环境信息系统国家重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所

3. 中国科学院大学

摘要 空气质量指数和综合污染指数为近些年国内最常用的环境质量评价方法,二者分别取各监测指标质量分指数的最大值和平均值,使得前者只重视首要污染物,后者忽略了污染物之间的重要性差异。为解决上述问题,将变异系数融入其中,动态调整了污染物项目之间的权重分布,总质量指数为各分指数的加权平均。通过设定滑动抽取的天数/月数,根据实地情况调节评价指数对长期/短期污染物的敏感度,提高了这2种评价方法的合理性和实用性。以2015—2019年北京市密云和西帽山的环境监测数据为例,验证了这2种改进方法的有效性,运用改进的方法分析了该5年北京市空气质量的时空分布变化。结果表明:北京市空气监测指标中的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 以及地表水监测指标中的溶解氧、总磷和总氮的变异系数较大;空气质量持续向好,并呈现从北到南逐渐变好的梯度分布。

关键词 变异系数;空气质量;地表水;质量评价;空气质量指数;综合污染指数

中图分类号:X82 文章编号:1674-991X(2021)04-0814-09 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20200262

Research on air and surface water quality evaluation method incorporated with the coefficient of variation

FENG Ran¹, ZHAI Dechao^{2,3}, YUAN Yongsheng^{1*}

1. College of Science, Hohai University

2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences

3. University of Chinese Academy of Sciences

Abstract Air Quality Index and Composite Pollution Index, as the most commonly used environmental quality assessment methods in China in recent years, took the maximum and average values, respectively of the sub-quality indexes for all the monitoring items. However, the former focused only on the primary pollutant, while the latter ignored the importance differences between pollutants. In order to solve these problems, the coefficient of variation was incorporated to adjust the weight distribution among pollutant items dynamically, and the total quality index was the weighted average of each sub-index. By setting the number of days or months of moving extraction, the sensitivity of the evaluation index to long-term/short-term pollutants was regulated according to the local conditions, which improved the rationality and practicability of these two evaluation methods. The environmental monitoring data of Miyun and Ximaoshan in Beijing from 2015 to 2019 were taken as an instance to verify the effectiveness of

收稿日期:2020-11-03

基金项目:国家自然科学基金项目(11202216)

作者简介:冯然(1997—),女,硕士研究生,主要从事数理统计学研究,fengran0608@163.com

* 责任作者:袁永生(1965—),男,教授,博士,主要从事概论统计和工程数学研究,ysyuan3@hhu.edu.cn

these two methods. The spatiotemporal distribution variation of the air quality in Beijing in the past five years was analyzed by the improved method. The results showed that the coefficient of variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} (air quality) together with dissolved oxygen, total phosphorus and total nitrogen (surface water) were larger, and the air quality had been getting better and presented a gradient distribution from north to south.

Key words coefficient of variation; air quality; surface water; quality assessment; air quality index; composite pollution index

大气污染和水污染作为生态环境领域的核心问题已经引起了国际社会的高度关注^[1-3]。环境评价是人们认识、保护和改善环境的基础,是环境管理和决策工作的重要组成部分^[4]。因此采用更科学、准确的方法来评价环境(空气和地表水)的污染程度对于反映环境质量和预测其发展趋势具有重要意义^[5-6]。

目前,我国环境质量评价方法多采用多指标数学综合评价模型,主要有综合污染指数法、模糊综合评价法、灰色聚类法和物元分析法等^[7-17],国外对此也有较多的研究^[18-22]。这些方法虽然应用广泛,但仍有很多不足之处。如不同的空气污染物之间具有一定的相关性,使用综合污染指数法时容易造成信息冗余,降低所求污染物权重的准确性以及算法的效率^[23]。而模糊综合评价法和灰色聚类法采用隶属度函数来描述大气污染状况,计算较为复杂,且在空气污染物浓度较低或过于分散时,计算过程中遗失的信息较多,难以准确反映环境质量状况。

目前,我国在空气和地表水的评价中采用的是空气质量指数(AQI)^[24]和综合污染指数^[25],但这2种方法同样存在不足之处。有学者指出AQI指数只取空气质量分指数的最高值会忽略次要污染物^[26],而综合污染指数取各污染物指数的算数平均值,这种等权的设置并不合理。针对AQI指数评价的不足,不同的学者提出了不同的解决方案,如灰色聚类法和模糊-灰色聚类法^[27-28]。针对地表水评价方法的不足,同样提出了一定程度的解决方案,如有学者引进了层次分析法和主成分分析法评价水环境质量^[29-30]。虽然上述对空气和地表水质量评价方法的改进起到了一定效果,但都较为复杂,实用性有限。

变异系数(coefficient of variation)用于测量一组数据的变动情况,通过标准偏差除以这些数据的算数均值,消除了这组数据的度量单位差异^[31],与这些数据所使用的量纲无关。在多维及高维数据中,变异系数较大的属性列更能表征这一对象(或事

件)的特征,对该对象的解释力更高。因此,笔者将变异系数融入空气和地表水的质量评价中,优化监测指标间的权重配置,既解决了AQI计算中忽略次要污染物问题,也完善了综合污染指数计算中的等权缺陷,而且变异系数的计算量较小,可操作性强,为环境质量的评价方法提供了一个很好的改进策略;该方法不仅可以检测出传统方法中的首要污染物,还可以得到污染浓度波动较大的某一(几)项污染物。希望融入变异系数的空气/地表水质量评价方法可以对环境质量评价相关政策的制定有所帮助,并且在空气/地表水质量进行改善时能够起到一定的借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及数据获取

北京市位于华北平原西北边缘,西面和北面以及东北面被群山环绕,东南是北京平原,向渤海倾斜,地势呈西北高、东南低^[32]。北京平原的海拔高度为20~60 m,最高峰是与河北省交界的东灵山,海拔为2 309 m^[33]。境内的几条主要河流分别是潮白河、北运河、永定河和拒马河^[34]。北京市夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春秋季节短促,是华北地区降水量最多的地区之一,且降水量季节分布不均匀,全年降水量的80%集中在6—8月^[35]。

选取2015—2019年北京市所有35个空气质量监测站点数据(部分天数有缺失)以及3个地表水监测断面(西帽山、谷家营和辛庄桥)数据。根据HJ 633—2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》,空气质量监测指标包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)和一氧化碳(CO)浓度。根据GB 3838—2002《地表水环境质量标准》,结合北京市地表水监测数据的实际情况,选取溶解氧(DO)、总氮、氨氮、总磷、氟化物浓度以及化学需氧量(COD)、高锰酸盐指数、五日生化需氧量(BOD_5) 8项监测指标。数据来自中国环境监测总站。北京市空气监测站点以及地表水监测断面分布如图1所示。

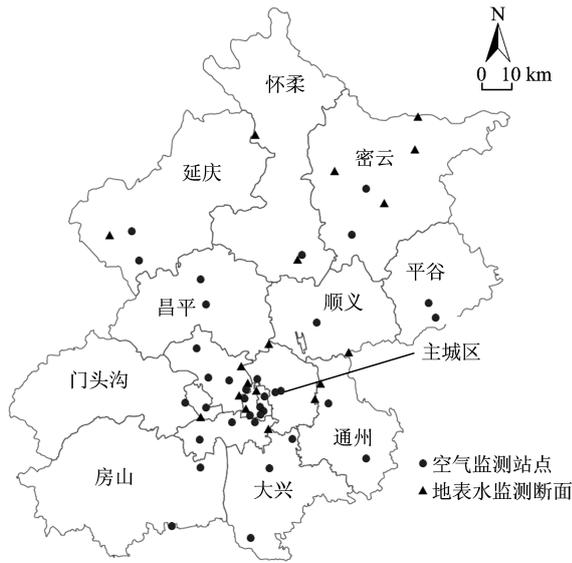


图 1 空气监测站点和地表水监测断面的位置分布

Fig. 1 Location of air monitoring stations and surface water monitoring sections

1.2 研究方法

1.2.1 变异系数法权重的确定

变异系数(CV)计算公式如下:

$$CV = \sigma/\mu \quad (1)$$

式中: σ 为标准偏差; μ 为平均值。

变异系数有 2 个特征: 1) 没有量纲, 不同变量之间相互比较时不用考虑量纲的差异; 2) 只在平均值不为 0 时有定义, 且一般适用于平均值大于 0 的情况, 而空气指标、水体污染物的浓度等不存在小于 0 的情况。

对于多维数据来说, 某一维度的变异系数越大, 表示该维度数据离散程度越大, 更能反映样本之间的差异, 所以在使用多维数据反映总体情况时, 各维度所占的权重不应该是相同的。假设该多维数据有 n 维, 维度 i 的权重 (W_i) 计算公式如下:

$$W_i = \frac{CV_i}{\sum_{i=1}^n CV_i} \quad (2)$$

1.2.2 改进的环境空气质量指数法

改进的环境空气质量指数法是以 HJ 633—2012 为基础的。首先, 计算空气质量分指数。污染物 p 的空气质量分指数计算公式如式(3), 具体数值见 HJ 633—2012 中各污染物浓度限值。

$$IAQI_p = \frac{IAQI_{Hi} - IAQI_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}}(C_p - BP_{Lo}) + IAQI_{Lo} \quad (3)$$

式中: $IAQI_p$ 为污染物 p 的空气质量分指数; C_p 为污染物 p 的实际浓度; BP_{Hi} 为与 C_p 相近的污染物浓度限值的高位值; BP_{Lo} 为与 C_p 相近的污染物浓度限值的低位值; $IAQI_{Hi}$ 为与 BP_{Hi} 对应的空气质量分指数; $IAQI_{Lo}$ 为与 BP_{Lo} 对应的空气质量分指数。

计算 AQI 原始的方法是取 IAQI 中的最大值。这样将某一指数直接作为空气质量指数的方法所利用的分指数的信息较少。改进的方法将考虑所有的分指数, 按照式(1)和式(2)计算各分指数的权重, 然后进行加权求和, 计算公式如下:

$$adjAQI = \sum_{p=1}^y (W_p \times IAQI_p) \quad (4)$$

1.2.3 改进的综合污染指数法

改进的综合污染指数法是以 GB 3838—2002 为基础, 对水质断面监测数据进行评价。单因子污染指数计算公式如下:

$$P_m = C_m/S_m \quad (5)$$

式中: P_m 为单因子污染指数; C_m 为第 m 项污染物的实际观测浓度; S_m 为第 m 项污染物的标准限值, 参见 GB 3838—2002, 如根据实际情况选择 II 类水为标准, 其高锰酸盐指数的标准限值为 4 mg/L。当 $P_m > 1.0$ 时, 说明已超标; 当 $P_m = 1.0$ 时, 为临界值; 当 $P_m < 1.0$ 时, 说明未超标, 水体清洁。

计算 P 原始的方法是取多个单因子污染指数的算数平均值, 相当于每个单因子污染指数的权重都是相同的 $1/n$ 。但是由于每个因子的变异系数不同, 对于总体的解释程度也不同, 所以每个因子的权重不应该是相同的, 故改进的综合污染指数计算公式如下:

$$adjP = \sum_{m=1}^l (W_m \times P_m) \quad (6)$$

1.3 数据分析

采用 SPSS 25.0 软件对试验数据进行预处理和变异系数的计算; 用 Python 程序语言进行改进的 AQI 和综合污染指数的计算; 最后用 ArcGIS 10.6 软件中的普通克里格插值对北京市空气质量进行时空分析。

2 结果与讨论

在计算空气和地表水的各项监测指标权重时, 取该日(或该月, 地表水监测数据为月尺度)的前 N 天/月的监测结果作为计算变异系数的数据集。 N 越大表明该污染物存在的时间越长, 这样更有利于检测出长期存在的污染物; 但是 N 的扩大不利于检

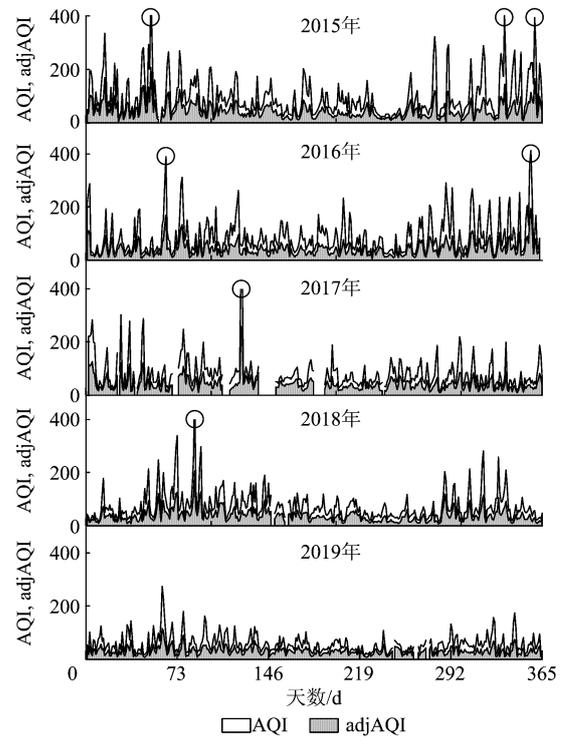
测短期存在的污染物,如在传统节日燃放烟花爆竹,使 SO_2 浓度短时间内激增,这种情况更适合下调 N ,从而快速准确地捕捉到其浓度变化,进而增加该项指标的变异系数。 N 的大小可以根据当地实际情况进行调节,当 N 确定后滑动计算各监测指标每天/月的权重。最近的前 N 天/月在时间上更能反映这段时间每个监测指标的变化情况:如果某污染物(如 SO_2 或 DO 等)浓度在前 N 天/月的波动较大,其变异系数也会较大,那么该污染物则被认为是一个重要指标,其权重自然会变大;当其处于平静期时,变异系数下降,相应的权重也会降低,说明在这段时间内该污染物并不是主要污染物。通过将变异系数融入空气和地表水质量评价中,根据实际情况设定 N 的大小可以动态调整每个监测指标的权重。

改进的方法不仅适用于监测数据连续的情况,对于质量较差的监测数据也同样适用。在实际计算改进的空气质量指数/综合污染指数时,会遇到 2 个问题:1) 当某天/月的监测指标出现异常值或是漏测,这时计算改进的污染指数时,该指标对应的权重乘以其浓度则为 0,这样得到的污染指数一定程度上会被低估。为了解决上述问题,将缺失数据的指标权重按照其他指标(该天/月数据未缺失)权重的比例分配到这些指标上。如某地的水质监测断面数据有 8 个监测指标,但是某月缺失了 COD 数据,这样就将 COD 权重按照其他 7 项指标权重的比例分配其中,使得该 7 项指标的权重之和仍为 1。不过当该天/月的监测指标缺失大于 3 个时,便认为无法计算改进的污染指数。2) 由于部分数据的缺失会导致数据不连续,这样用于计算空气和地表水各监测指标权重的数据会出现不足 N 天的情况,这时所采取的策略是跳过缺失的该项监测数据,直到获取足够天数的数据。

2.1 改进的空气质量评价方法与原始方法的对比

以密云空气监测站点为例,数据来自北京市生态环境监测中心,时间跨度为 2015—2019 年。根据多次试验,选取该天的前 30 d 的监测结果作为计算变异系数的数据集,然后滑动计算各监测指标每天的权重,最终得到 AQI 与 adjAQI 的关系,如图 2 所示(由于部分天数的所有监测指标数据均缺失,有些年份的波动曲线是断开的)。从图 2 可以看出,adjAQI 与 AQI 的波动趋势相同,但振幅较小,这是因为 adjAQI 采用的是加权平均的计算结果;而 AQI 取的是各空气质量分指数的最大值。adjAQI 计算

结果的波动趋势和 AQI 相同,反映了本方法的准确性和可用性。



注:圈出部分表示当日 AQI 数据过高。

图 2 2015—2019 年北京市密云空气监测站点 AQI 与 adjAQI 的对比

Fig. 2 Comparison of AQI and adjAQI at Miyun Air Monitoring Station in Beijing from 2015 to 2019

表 1 是用改进的方法计算得到的 2015—2019 年密云监测站点的 6 项空气污染指标的季度平均权重,其均值为 0.167,高于该值则被认为变异系数较大,污染物浓度波动较大。从表 1 可以看出, $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的权重在这 5 年间普遍较高,可见细颗粒物浓度波动最为剧烈,是北京市空气质量监测需要重点关注的指标;此外 O_3 浓度在夏季的权重较高,这与实际情况相符; SO_2 浓度的季节性差异比较明显,春夏季波动明显高于秋冬季,则 SO_2 浓度在春夏季获得较大的权重。

图 3 为采用改进的空气质量评价方法计算得到的主要污染物在各季节中存在的天数占比。从图 3 可以看出,2015—2019 年细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10}) 浓度是影响空气质量的主要指标;在年际尺度上,春夏季 O_3 浓度对空气质量的影响较大,尤其是夏季 O_3 成为首要污染物,而秋冬季的首要污染物是细颗粒物, NO_2 浓度对空气质量的影响随着四季的更替逐渐变大,该结果与文献[36]的研究结果一致。对比

表 1 改进的空气质量评价方法计算得到的 2015—2019 年北京市密云空气监测站点空气质量监测指标的季度平均权重

Table 1 Quarterly average weights of air quality monitoring items at Miyun station in Beijing from 2015 to 2019 with the adjusted method

指标	2015 年				2016 年				2017 年				2018 年				2019 年			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
PM _{2.5}	$\frac{0.22}{(0.54)}$	0.23	$\frac{0.24}{(0.59)}$	$\frac{0.27}{(0.57)}$	$\frac{0.23}{(0.42)}$	0.24	$\frac{0.22}{(0.53)}$	$\frac{0.24}{(0.49)}$	0.22	0.20	$\frac{0.22}{(0.41)}$	0.23	$\frac{0.23}{(0.45)}$	0.21	0.23	0.20	0.21	0.19	0.22	0.21
PM ₁₀	0.15	0.15	0.17	0.20	0.18	0.18	0.18	0.19	$\frac{0.23}{(0.38)}$	0.21	0.23	$\frac{0.24}{(0.42)}$	0.23	0.20	$\frac{0.26}{(0.42)}$	$\frac{0.26}{(0.43)}$	$\frac{0.23}{(0.41)}$	0.18	$\frac{0.23}{(0.45)}$	$\frac{0.24}{(0.47)}$
SO ₂	0.16	0.19	0.15	0.15	0.17	0.14	0.15	0.15	0.16	0.15	0.14	0.15	0.16	0.17	0.12	0.15	0.14	0.15	0.13	0.12
NO ₂	0.14	0.13	0.16	0.14	0.14	0.13	0.18	0.15	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16
O ₃	0.19	$\frac{0.20}{(0.55)}$	0.15	0.14	0.15	$\frac{0.19}{(0.40)}$	0.12	0.14	0.15	$\frac{0.21}{(0.41)}$	0.13	0.12	0.11	$\frac{0.20}{(0.51)}$	0.12	0.13	0.16	$\frac{0.22}{(0.56)}$	0.14	0.14
CO	0.14	0.10	0.13	0.12	0.13	0.12	0.15	0.13	0.11	0.11	0.16	0.13	0.15	0.09	0.14	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13

注:带有下划线的数据所代表的指标为传统方法计算得到的该季度首要污染物;括号中的数据表示该污染物在季度中存在的天数占比。

表 1 和图 3 可以看出,改进的方法所检测到的首要污染物和传统方法相比差别不大,但是由于监测指标的权重差异,使得季度的首要污染物存在天数占比会向波动较大的监测指标偏移。

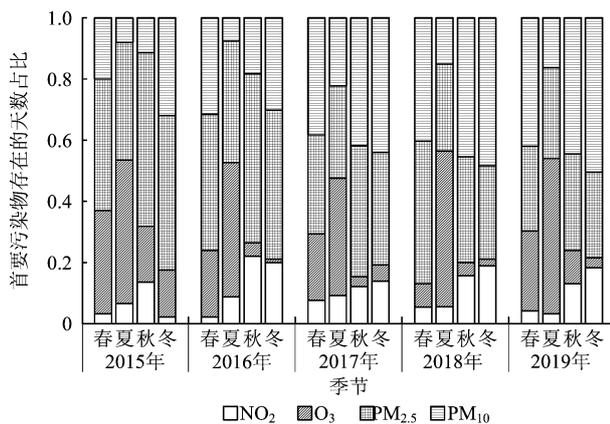


图 3 2015—2019 年密云空气监测站点各季度首要污染物存在天数的比例(基于改进的空气质量评价法)

Fig. 3 Proportion of days with primary pollutant in each season in Miyun station from 2015 to 2019 (based on the adjusted method)

对比上述 2 种方法,传统的 AQI 计算简单,一定程度上可以反映空气的质量状况,但是该方法过于强调首要污染物,忽略了次要污染物。与原始的 AQI 方法相比,改进的 AQI 有如下优势:不仅考虑到传统方法中的首要污染物,还兼顾了在一定时间段内波动较大的污染物,较为全面地利用了所有监测信息,而且根据变异系数调整了权重分配,使得到的结果更加合理;可以根据当地的实际情况设定特定

的 N , 这样便可以调整用于检测长期/短期存在的污染物;很好地控制了数据结果的突变,如图 2 所示圆圈部分,原始 AQI 方法计算得到很多极端值,这些值可能是正常值的几十倍,而改进的方法有效地避免了这一问题。

2.2 改进的地表水评价方法与原始方法的对比

以北京市西帽山(滴水湖)监测断面月尺度数据为例,时间跨度为 2015—2019 年,滑动选取前 12 个月作为样本计算变异系数并转化为权重,最终得到 2016—2019 年西帽山监测断面的 $adjP$, 结果如图 4 所示(由于数据选取的起始年份是 2015 年,所以该年份没有计算变异系数的数据基础)。从图 4 可以看出,改进的计算结果和原始的污染指数变化幅度基本相同,证明了该方法的有效性(根据实际情况选择Ⅲ类水为标准)。

2016—2019 年北京市西帽山断面地表水监测指标的年度平均权重如表 2 所示。地表水的 8 项监测指标的年度平均权重的均值为 0.125, 高于该值表示该污染物的变异系数较大。从表 2 可以看出,溶解氧、总磷和总氮浓度在 2016—2019 年的权重均高于平均值,表明这 3 项指标变化较大,而且前 2 项指标在 2019 年变化更加剧烈,总氮浓度的权重在这几年中变化不大,处于平稳状态。2016—2019 年,最高的年度平均权重分别为溶解氧浓度(0.248)、总氮浓度(0.231)、溶解氧浓度(0.264)和总磷浓度(0.282),表明最近几年溶解氧浓度是该研究区

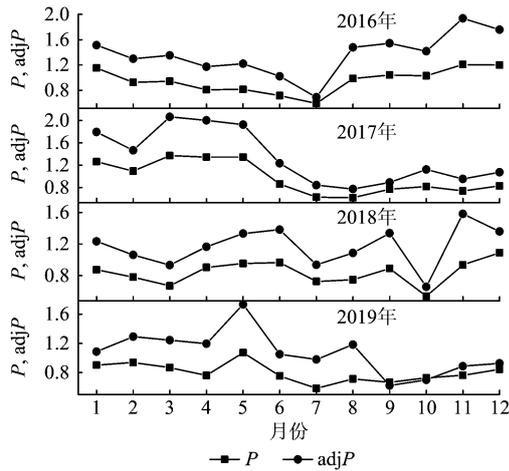


图 4 2016—2019 年北京市西帽山监测断面的 P 与 $adjP$ 的对比

Fig. 4 Comparison of P and $adjP$ of Ximaoshan monitoring section in Beijing from 2016 to 2019

地表水监测指标中波动最大的。剩余 5 项指标,除了 2017 年的 COD 和氨氮浓度超过平均值之外,其余均处于均值以下,这可能是因为在 2017 年部分时段内该断面附近有特定污染物的排放。高锰酸盐指数和氟化物浓度在这 4 年中一直处于较低状态,但是高锰酸盐指数在最近 2 年有上升趋势。

表 2 2016—2019 年北京市西帽山断面地表水监测指标的年度平均权重

Table 2 Annually average weights of surface water monitoring items in Ximaoshan section in Beijing from 2016 to 2019

指标	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
溶解氧	0.248	0.216	0.264	0.278
高锰酸盐指数	0.065	0.066	0.078	0.081
化学需氧量	0.114	0.160	0.121	0.120
五日生化需氧量	0.107	0.101	0.093	0.096
氨氮	0.102	0.145	0.117	0.122
总磷	0.184	0.185	0.238	0.282
总氮	0.247	0.231	0.254	0.239
氟化物	0.098	0.086	0.071	0.089

传统的综合污染指数法是取所有污染项指数的平均值,没有考虑到各污染项存在重要性的差异,相比而言,改进的综合污染指数法有以下优点:1)融

入了变异系数,重新调整了权重的分配,使得到的结果更加合理。2)可以根据当地的实际情况设定特定的时间,自行调整用于检测长期/短期存在的污染物。3)可以有效解决监测数据异常或者缺失等问题,这在水质监测中是很常见。该方法可以自动重新分配权重,使得缺失数据的指标权重为 0,其他指标的权重之和为 1,有效避免了计算结果被低估的问题。

上述改进的方法同样存在一定的问题,如滑动平均所设置的 N 需要根据实际情况来决定,这样就会造成一定的不确定性。这需要判断当地的空气或者地表水是否长期处于稳定状态,如果是的话,可以相应地增大 N ,反之则降低 N 。

2.3 北京市空气质量的时空分布

为了得到北京市空气质量的时空分布,基于 2015—2019 年的北京市所有监测站点的空气监测数据,利用空间插值的方法,对 $adjAQI$ 进行插值。考虑到空气质量数据较为平稳,采用普通克里格进行插值,结果如图 5 所示。

从图 5 可以看出,2015—2018 年北京市的空气质量已经有了变好的趋势,2019 年的空气质量有了较大的转变,四季的 $adjAQI$ 都比前 3 年低很多。在季节上,夏秋季的空气质量普遍要优于春冬季,其中夏季的空气质量普遍最优;冬季的空气质量普遍最差。结合 2.1 节北京市的空气质量受 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的影响最大,得出以下原因:1)冬季尤其是冬季的夜晚,天气寒冷,近地面的大气要比上层大气温度低,造成大气层结构稳定,空气无法上下对流,污染物积聚很难扩散;夏季则相反,地面相对于大气是热源,大气垂直运动活跃,污染物容易扩散^[37];2)北京市采用燃煤供暖,而燃煤排放的煤烟尘会导致细颗粒物浓度升高^[38]。

从空间尺度上看,北京市整体上的空气质量呈从北到南逐渐变好的趋势。空气质量较好的区域集中在密云区和怀柔区,然后扩展到延庆区和平谷区。空气质量较差的区域主要集中在主城区以及丰台区。这是因为北京市的主城区是人口主要聚集的地区,是车辆运转以及各种污染排放的集中地。但是随着季节的变化,空气质量的空间分布又会呈不同的态势,虽然整体上还是梯度分布,但是夏秋季空气质量的局部积聚效应较为明显,空气质量较差的区域主要集中在主城区;到了春冬季,尤其是冬季,局部积聚分布几乎完全转变为梯度分布。

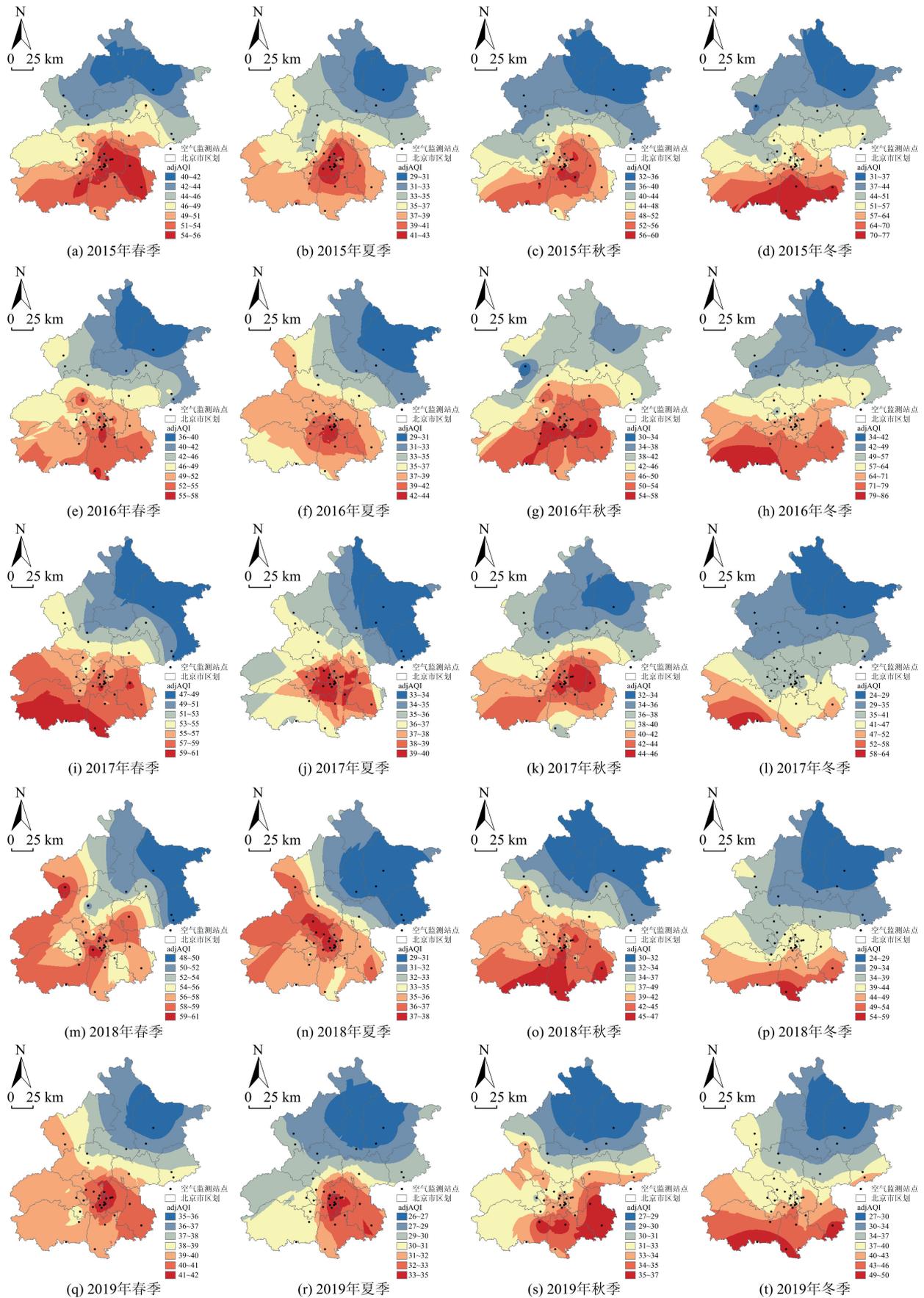


图 5 2015—2019 年北京市 adjAQI 的时空分布

Fig. 5 Spatiotemporal distribution of adjAQI in Beijing from 2015 to 2019

3 结论

(1)改进的空气质量指数法通过动态调整各污染指标之间的权重配置,有效地解决了传统方法忽略次要污染物,监测信息利用不全面的问题。改进的评价方法不仅考虑了首要污染物还兼顾了波动较大的污染物,使评价结果更加合理。

(2)在计算空气或地表水的各项监测指标权重时,滑动选择天/月数的长度,能够调节评价指数对长期/短期污染物的敏感度,滑动选择的时间越长更容易检测长期存在的污染物,反之亦然。以北京市密云监测站空气数据和西帽山断面的水质数据为例,验证了改进方法的有效性。结果表明,2015—2019年北京市空气质量监测指标中的细颗粒物(包括 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10})浓度以及2016—2019年地表水监测指标中的溶解氧、总磷和总氮浓度的变异系数较大,重要性更高。

(3)应用改进的空气质量指数法分析了2015—2019年北京市空气质量的时空分布。从时间尺度上看,该5年北京市的空气质量持续向好,夏秋季比春冬季要好,这主要是由于春冬季的燃煤供暖导致细颗粒物排放造成的;空间尺度上看,北京市的空气质量呈从北到南逐渐变好的梯度现象。

参考文献

- [1] World Health Organization. Air quality guidelines-global update 2005 [R]. Bonn: WHO Regional Office for Europe, 2005: 275-280.
- [2] GÓMEZ-PELÁEZ L M, SANTOS J M, de ALMEIDA-ALBUQUERQUE T T, et al. Air quality status and trends over large cities in South America [J]. *Environmental Science & Policy*, 2020, 114: 422-435.
- [3] STOCKER J, CARRUTHERS D, JOHNSON K, et al. Evaluation of local and regional air quality forecasts for London [J]. *International Journal of Environment and Pollution*, 2018, 64(1/2/3): 178.
- [4] 刘杰. 北京大气污染物时空变化规律及评价预测模型研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2015.
- [5] QIAN Q, SUN B, LI X C, et al. Water quality evaluation on an urban stormwater retention pond using wireless sensor networks and hydrodynamic modeling [J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2019, 145(12): 05019011.
- [6] CASTIGLIONE C, INFANTE D, SMIRNOVA J. Environment and economic growth: is the rule of law the go-between; the case of high-income countries [J]. *Energy, Sustainability and Society*, 2015, 5(1): 1-7.
- [7] 刘萍. 基于主成分分析和多元线性回归模型的空气质量评价方法研究 [D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [8] 张茹, 张学杨, 陆洪光, 等. 基于层次分析和主成分分析的城市空气质量评价: 以徐州市为例 [J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(3): 103-107.
ZHANG R, ZHANG X Y, LU H G, et al. Urban air quality evaluation by analytic hierarchy process and principal component analysis: a case study of Xuzhou City [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2017, 24(3): 103-107.
- [9] 王诗瑶. 水阳江干流(宣城段)水环境综合治理对策研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [10] 吕铃钥, 李洪远. 基于模糊综合评判的京津冀地区空气质量评价 [J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2016, 49(1): 62-68.
LÜ L Y, LI H Y. Air quality evaluation of Beijing-Tianjin-Hebei Region of China based on the fuzzy comprehensive evaluation method [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2016, 49(1): 62-68.
- [11] 王雪. 陕西省空气质量评价及影响因素研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [12] 潘本锋, 宫正宇, 王帅, 等. 环境空气质量指数在应用中存在的问题及建议 [J]. *中国环境监测*, 2015, 31(1): 64-67.
PAN B F, GONG Z Y, WANG S, et al. Defects and revising suggestions of the application of ambient air quality index [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2015, 31(1): 64-67.
- [13] 郭绍征. 基于统计学习方法的空气质量评价与分类 [D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [14] 杨晓华, 杨志峰, 郦建强, 等. 大气环境质量综合评价的物元分析法 [J]. *环境工程*, 2003, 21(5): 69-70.
YANG X H, YANG Z F, LI J Q, et al. A multiple objective decision making-ideal interval method for comprehensive assessment of atmospheric environmental quality [J]. *Environmental Engineering*, 2003, 21(5): 69-70.
- [15] 高玉琴, 刘云苹, 叶柳, 等. 基于物元分析法的泵站管理现代化评价研究 [J]. *水资源与水工程学报*, 2019, 30(4): 124-130.
GAO Y Q, LIU Y P, YE L, et al. Evaluation of pumping station management modernization based on matter-element analysis method [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2019, 30(4): 124-130.
- [16] 张嘉祯. 长三角城市群 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 时空特征分析及空气质量评价 [D]. 上海: 上海师范大学, 2018.
- [17] 周刚, 熊勇峰, 呼婷婷, 等. 地表水水质模型综合评价技术体系研究 [J]. *环境科学研究*, 2020, 33(11): 2561-2570.
ZHOU G, XIONG Y F, HU T T, et al. Comprehensive evaluation technology system for surface water quality models [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2020, 33(11): 2561-2570.
- [18] LEE J Y, JO W K, CHUN H H. Long-term trends in visibility and its relationship with mortality, air-quality index, and meteorological factors in selected areas of Korea [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2015, 15(2): 673-681.
- [19] ZHOU Z X, CHEN Y, SONG P F, et al. China's urban air quality evaluation with streaming data: a DEA window analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 727: 138213.

- [20] YU W Y, ZHANG S J, SHEN H T, et al. Air quality evaluation of Bo Hai Coastal Region based on entropy weight method [J]. *Journal of Coastal Research*, 2019, 94 (Suppl 1) :83.
- [21] DEEP A, PANDEY C P, NANDAN H, et al. Evaluation of ambient air quality in Dehradun City during 2011-2014 [J]. *Journal of Earth System Science*, 2019, 128(4) :1-14.
- [22] PERLMUTT L D, CROMAR K R. Evaluation of the air quality index as a risk communication tool [J]. *Journal of Environmental Health*, 2019, 81(6) :8-15.
- [23] 王帅, 潘本锋, 张建辉, 等. 环境空气质量综合指数计算方法比选研究 [J]. *中国环境监测*, 2014, 30(6) :46-52.
WANG S, PAN B F, ZHANG J H, et al. Comparison study on the calculation methods of ambient air quality comprehensive index [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, 30(6) :46-52.
- [24] 环境保护部. 环境空气质量指数(AQI)技术规定: HJ 633—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [25] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [26] 孟晓艳, 王帅, 王瑞斌, 等. 环境空气质量评价的思考及建议 [J]. *环境科技*, 2013, 26(2) :63-66.
MENG X Y, WANG S, WANG R B, et al. Considerations and suggestions on the ambient air quality evaluation [J]. *Environmental Science and Technology*, 2013, 26(2) :63-66.
- [27] 刘杰, 杨鹏, 吕文生, 等. 基于北京市6类污染物的环境空气质量评价方法 [J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(1) :310-315.
LIU J, YANG P, LÜ W S, et al. Environmental air quality evaluation method based on the six pollutants in the urban areas of Beijing [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2015, 15(1) :310-315.
- [28] 裘阅. 基于多种模型下的安徽省环境空气质量综合评价 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [29] 郑利杰, 高红杰, 宋永会, 等. 我国典型城市地表水水质综合评价与分析 [J]. *环境工程技术学报*, 2016, 6(3) :252-258.
ZHENG L J, GAO H J, SONG Y H, et al. Comprehensive evaluation and analysis of surface water quality for typical cities of China [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2016, 6(3) :252-258.
- [30] 何晓丽, 吴艳宏, 周俊, 等. 贡嘎山地区地表水化学特征及水环境质量评价 [J]. *环境科学*, 2016, 37(10) :3798-3805.
HE X L, WU Y H, ZHOU J, et al. Hydro-chemical characteristics and quality assessment of surface water in Gongga Mountain Region [J]. *Environmental Science*, 2016, 37(10) :3798-3805.
- [31] ABD I, HERV E. Coefficient of variation [J]. *Encyclopedia of Research Design*, 2010(1) :169-171.
- [32] 张莹. 我国典型城市空气污染特征及其健康影响和预报研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [33] 李贝贝, 黄玉虎, 毕晓辉, 等. 北京市土壤风蚀扬尘排放因子本地化 [J]. *环境科学*, 2020, 41(6) :2609-2616.
LI B B, HUANG Y H, BI X H, et al. Localization of soil wind erosion dust emission factor in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2020, 41(6) :2609-2616.
- [34] 崔耀平, 刘纪远, 秦耀辰, 等. 北京城市扩展对热岛效应的影响 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(12) :3485-3493.
CUI Y P, LIU J Y, QIN Y C, et al. The impact of urban sprawl on heat island intensity in Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(12) :3485-3493.
- [35] 李正涛. 京津冀地区沙尘活动及其对城市大气环境的影响 [D]. 石家庄: 河北师范大学, 2013.
- [36] 酆嘉诚, 高庆先, 李亮, 等. 对首要污染物所揭示的京津冀环境空气质量状况的认识启迪与对策建议 [J]. *环境科学研究*, 2018, 31(10) :1651-1661.
LI J C, GAO Q X, LI L, et al. Enlightenment and suggestions on the air quality of Beijing, Tianjin and Hebei revealed by primary pollutants [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(10) :1651-1661.
- [37] 徐敬, 丁国安, 颜鹏, 等. 北京地区PM_{2.5}的成分特征及来源分析 [J]. *应用气象学报*, 2007, 18(5) :645-654.
XU J, DING G A, YAN P, et al. Componential characteristics and sources identification of PM_{2.5} in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2007, 18(5) :645-654.
- [38] EBENSTEIN A, FAN M Y, GREENSTONE M, et al. New evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River Policy [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(39) :10384-10389. □